ISOBIODOM

Isolants biosourcés dans les départements d'outre-mer

ÉTUDE DE LA PERFORMANCE HYGROTHERMIQUE ET DE LA DURABILITÉ

ACCOMPAGNEMENT DES PROFESSIONNELS

à la mise en œuvre en construction et rénovation en fonction des spécificités locales et du climat réunionnais

ISOBIODOM

EQUIPE PROJET

CIRBAT – ORLAT

- **Jérôme VUILLEMIN** *(Responsable CIRBAT et ORLAT)*
- **Florent CHOPINET** *(Technicien de Laboratoire)*

FCBA

EQUIPE LABORATOIRE DE BIOLOGIE

- **Isabelle LE BAYON** *(Responsable technique mycologie)*
- **Mathilde MONTIBUS** *(Ingénieur de recherche)*
- **Martine GABILLÉ** *(Chargée d'essais)*
- **Adeline JASICK** *(technicienne d'essais)*
- **Lora DAULIAC** *(technicienne d'essais)*

EQUIPE CONSULTANCE INNOVATION

- **Julien LAMOULIE** *(Ingénieur construction)*

CSTB - Direction Santé-Confort / Division Agents Biologiques et Aérocontaminants

- **Marjorie DRAGHI** *(Ingénieure Recherche et expertise responsable du secteur « Moisissures et espaces clos »)*
- **Isabelle LACAZE** *(Ingénieure Recherche et expertise)*
- **Christelle OLLIVIER** *(Technicienne chargée d'essais)*

Ce guide ne se substitue en aucun cas aux textes de référence, qu'ils soient règlementaires (lois, décrets, arrêtés…), normatifs (normes, DTU ou règles de calcul) ou codificatifs (avis techniques, CPT,…) qui doivent être consultés.

Le plan d'expérimentation qui a été mis en œuvre pour caractériser les parois présentes dans ce guide a été fait sur la base d'hypothèses et de critères spécifiques.
Les résultats donnés ne se substituent en aucun cas à ceux d'un bureau d'études.
Le CIRBAT, FCBA et CSTB déclinent toute responsabilité quant aux conséquences directes ou indirectes de toute nature qui pourraient résulter de toute interprétation erronée du contenu du présent guide.

Le CSTB est intervenu dans le cadre de l'étude IsoBioDom pour « l'Identification des moisissures présentes dans les bâtiments à La Réunion » et « l'évaluation de la durabilité des prototypes d'isolants biosourcés face aux moisissures issues de La Réunion ».
En revanche, le CSTB n'étant pas intervenu pour les autres parties du présent guide, il ne pourra être tenu responsable des développements desdites parties.

CONTEXTE ET ENJEUX DU PROJET

Dans le cadre de la construction et de la rénovation des bâtiments dans les départements ultra marins, il convient d'apporter une attention particulière au confort thermique afin de limiter la consommation énergétique (climatisation et chauffage). Dans le secteur du neuf, la réglementation RTAA Dom impose aux constructeurs le respect de certaines règles dans le domaine de la thermique, de l'aération et de l'acoustique.

Aussi, concernant les aspects thermiques, la réglementation prévoit de protéger les parois contre les rayonnements solaires selon trois modalités : créer de l'ombrage par un effet de «pare-soleil», limiter l'absorption des rayonnements par le choix de coloris clairs et réduire la transmission thermique par l'isolation thermique.

Ainsi, depuis l'application de la RTAA Dom en 2010 l'utilisation des produits isolants a connu un développement important dans les DOM. Ce développement concerne principalement l'utilisation d'isolants traditionnels (Laines minérales, polystyrène...). Une petite part du marché concerne la ouate de cellulose.

Cependant, la construction et la rénovation en territoires ultramarins doivent prendre en compte différents aspects : les risques de sinistralité, les conditions hygrothermiques spécifiques, les exigences en termes énergétiques, les défis environnementaux.

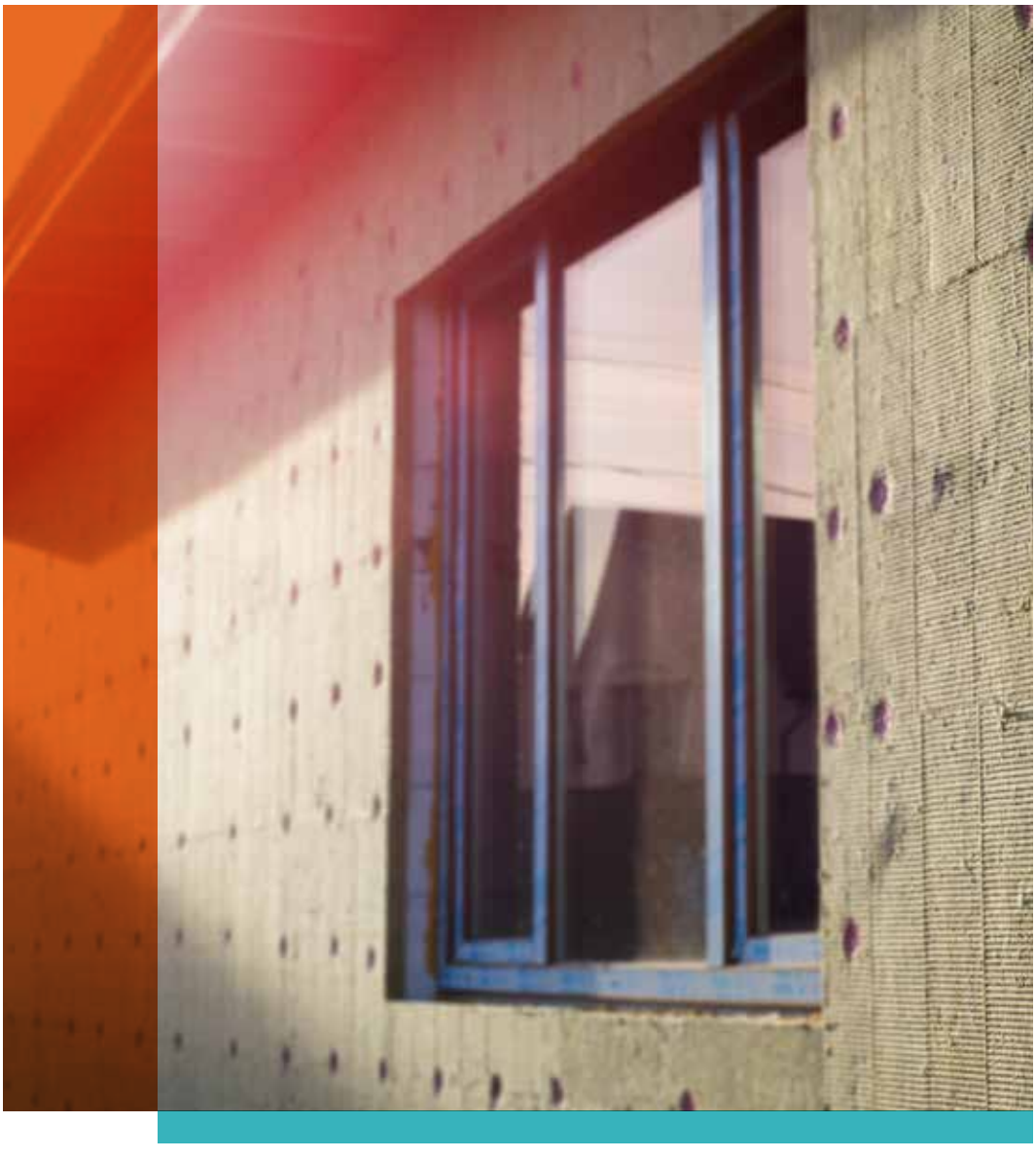
A l'échelle nationale, le développement de filières vertes pour la construction (matériau bois, isolants à base de matériaux biosourcés) permet de répondre à certains défis environnementaux, économiques et réglementaires.

L'utilisation d'isolants biosourcés pour la construction ou la rénovation dans les territoires ultramarins est une véritable opportunité. En revanche, afin de développer une construction et une rénovation de qualité et durable, il est indispensable de connaitre les performances de ces matériaux en lien avec les spécificités locales. De par ses spécificités climatiques diversifiées, l'île de La Réunion peut être considérée comme un « Laboratoire ultramarin », permettant de qualifier un nombre important de conditions hygrothermiques et ainsi d'étendre les bonnes pratiques définies pour La Réunion aux autres territoires ultramarins.

OBJECTIFS DU PROJET

CE PROJET VISE À :

- Répertorier les causes de sinistralité, et plus particulièrement, déterminer les types de moisissures présentes sur l'île de La Réunion dans les bâtiments
- Réaliser des prototypes d'isolants biosourcés à partir de ressources de La Réunion
- Etudier la performance hygrothermique des isolants biosourcés en fonction des spécificités des territoires ultramarins et en particulier de La Réunion
- Etudier la durabilité des isolants biosourcés (métropolitains et ultramarins) vis-à-vis des moisissures et des termites en prenant en compte des conditions climatiques spécifiques
- Accompagner les professionnels pour la mise en œuvre d'isolants biosourcés en construction neuve et en rénovation en fonction des spécificités locales et des performances déterminées.



SOMMAIRE

1/7
FABRICATION DE PROTOTYPES D'ISOLANTS BIOSOURCÉS À PARTIR DE RESSOURCES LOCALES
7 1.1. Le choix des végétaux
9 1.2. Fabrication de prototypes d'isolants en vrac

2/10
CARACTÉRISATION DE LA CONDUCTIVITÉ THERMIQUE DES ISOLANTS
10 Résultats

3/11
ÉTUDE DE LA PERFORMANCE HYGROTHERMIQUE DES PROTOTYPES D'ISOLANTS BIOSOURCÉS EN FONCTION DES PRINCIPAUX MODES CONSTRUCTIFS DE LA RÉUNION
11 Choix des parois
12 Données source / hypothèses
13 Ambiances extérieures
14 Résultats
15 Interprétation des résultats

4/16
IDENTIFICATION DES MOISISSURES PRÉSENTES DANS LES BÂTIMENTS À LA RÉUNION
16 4.1. Prélèvements Directs sur matériaux infestés
17 Analyse moléculaire
18 Résultats et discussion
19 4.2. Exposition d'échantillons de matériaux

5/21
ÉVALUATION DE LA DURABILITÉ DES PROTOTYPES D'ISOLANTS BIOSOURCÉS FACE AUX MOISISSURES ISSUES DE LA RÉUNION
22 Résultats

6/23
ÉVALUATION DE LA DURABILITÉ DES PROTOTYPES D'ISOLANTS BIOSOURCÉS FACE AUX TERMITES DE LA RÉUNION
24 Résultats et conclusions

7/25
TRAITEMENT DES FIBRES

8/26
FAISABILITÉ TECHNICO-ÉCONOMIQUE

9/27
RECONNAISSANCE TECHNIQUE D'UN ISOLANT AVANT MISE SUR LE MARCHÉ

10/29
PRESCRIPTIONS DE MISE EN ŒUVRE DES ISOLANTS BIOSOURCÉS À LA RÉUNION

1/ FABRICATION DE PROTOTYPES D'ISOLANTS BIOSOURCÉS À PARTIR DE RESSOURCES LOCALES

1.1. CHOIX DES VÉGÉTAUX :

Dans la réalisation de cette étude, quatre types de végétaux ont été sélectionnés : la bagasse de canne à sucre, les feuilles de vétiver, le bois de goyavier et le bois de Cryptomeria.

La Bagasse de canne à sucre, fournie par ERCANE, est un résidu fibreux de la canne à sucre obtenu après extraction du suc. La bagasse est utilisée comme combustible des centrales thermiques de La Réunion durant la période de récolte sucrière (figure 1).

Figure 1. Canne à sucre et bagasse

Figure 2. Vétiver

Le Vétiver (Chrysopogon zizanioides), fourni par ECOEX, a été introduit à La Réunion dans les années 1800. Le vétiver se présente sous forme de grandes touffes vertes dont les feuilles atteignent plus d'un mètre. Il est cultivé principalement pour ses racines tordues et longues qui permettent de fixer les sols et qui sont distillées pour fournir l'essence de vétiver utilisée en parfumerie. Autrefois ses longues feuilles, une fois mises en bottes et séchées, constituaient la matière première de certaines paillotes créoles et pour le toit de nombreuses cases (figure 2).

Le Goyavier de Chine (Psidium cattleianum), fourni par la SCIC Écobois-goyavier du Conseil Départemental, est un arbuste fruitier de la famille des Myrtaceae originaire d'Amérique du Sud. Le goyavier est devenu une peste végétale qui envahit les milieux naturels de La Réunion. Il est éliminé mécaniquement afin de limiter son expansion (figure 3).

Figure 3. Goyavier de Chine

Le bois de Cryptomeria (Cryptomeria japonica), fourni par COPOBOIS sous forme de copeaux, est un conifère au fut droit atteignant 25 mètres de hauteur. Cette essence a été introduite à La Réunion dès 1874 et adoptée dès les années 1950 comme essence de reboisement en raison de son adaptation aux sols volcaniques, au climat montagnard et aux vents cycloniques. Il s'agit de la seule essence locale utilisable comme bois de structure dans la construction. Les copeaux sont issus des sous-produits de sciage provenant des forêts gérées par l'ONF. Ainsi, la scierie Sciages de Bourbon valorise les grumes de Cryptomeria dont la transformation engendre 50% de sous-produits valorisés par COPOBOIS.

Figure 4. Cryptomeria

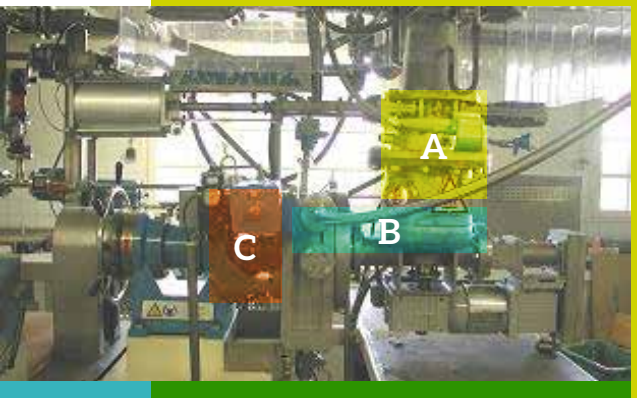
Dans cette étude, deux isolants témoins sont utilisés : la ouate de cellulose traitée avec 4.4% m/m d'acide borique et la laine de verre (figure 5).

Figure 5. Matériaux témoins : Dessus : Ouate de cellulose traitée - Dessous : Laine de verre

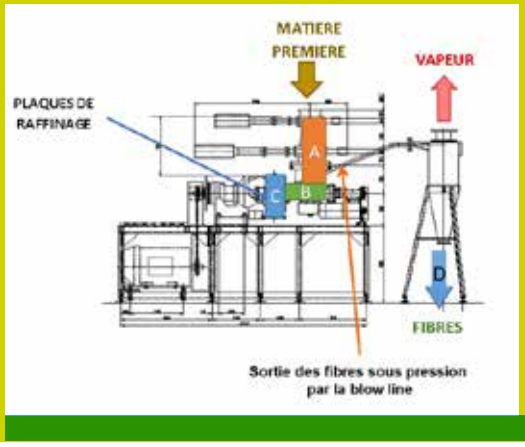
1.2 FABRICATION DE PROTOTYPES D'ISOLANTS EN VRAC :

La matière première brute a été défibrée dans un défibreur pilote Andritz, simple disque, 30 cm de diamètre, sous pression de vapeur et moteur de 45kW (figure 6).

LA MÉTHODE



A -La matière première brute est étuvée à 150°C pendant 10 min.
B -Une vis d'alimentation introduit la matière première brute au niveau des plaques.
C - La matière première brute est défibrée entre les plaques à 150°C sous 4 bars avec ajout de vapeur d'eau.
D - Les fibres sont séparées des vapeurs par cyclonage en sortie



Plaque de raffinage dédiées : 3 zones à finesse

Figure 6. Dispositif de défibrage utilisé dans le cadre de l'étude

Résultat du défibrage :

BAGASSE de canne à sucre

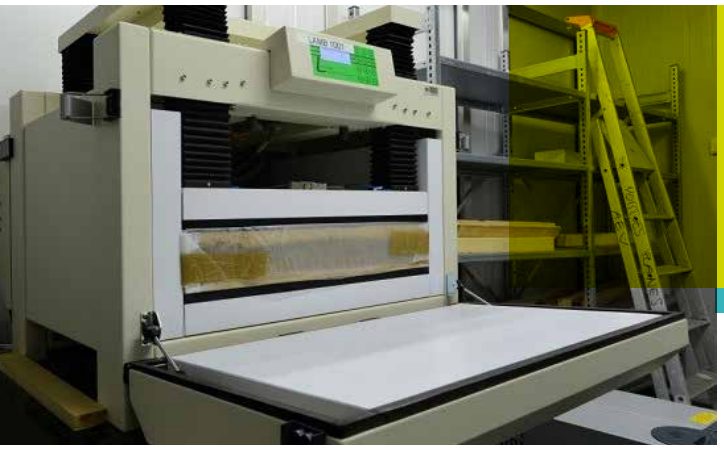
VÉTIVER

GOYAVIER

CRYPTOMERIA

Figure 7. Visualisation de la matière première avant et après défibrage

2/ CARACTÉRISATION DE LA CONDUCTIVITÉ THERMIQUE DES ISOLANTS



La mesure de conductivité thermique (en $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$) des prototypes a été réalisée au lambdamètre selon la norme NF EN 12667 (2001) sur des échantillons de 600mm x 600 mm x 100 mm (figure 8)

Figure 8. Lambdamètre utilisé pour mesurer la conductivité thermique des prototypes d'isolants créés

Ainsi, la conductivité thermique des végétaux à l'étude a été mesurée selon différentes modalités :

- **Sous forme brute** (paille de vétiver, goyavier et de canne à sucre – copeaux de cryptomeria) **et sous forme défibrée**
- **Selon 3 densités:** le plus aéré possible / 30 ± 5 $kg.m^{-3}$ / 45 ± 5 kg/m^{-3}

Résultats :

	MATIERE BRUTE	MATIERE DEFIBREE		Gain de performance suite au défibrage***
Densité	Le plus aéré possible	30 ± 5 kg/m^3	45 ± 5 kg/m^3	
Cryptomeria	0,05225 (à 54 kg/m^3)	0,04828 (à 38 kg/m^3)*	0,04595	12% - 25%**
Bagasse	0,04958 (à 67 kg/m^3)	0,04948	0,04420	11%
Goyavier	ND	0,04654	0,03886	ND
Vétiver	0,0993 (à 29 kg/m^3)	0,04869	ND	51%

Tableau 1. Résultats des mesures de conductivité thermique en $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
* à 38 kg/m^3 : impossible de réaliser 30 kg/m^3 (tassement naturel)
** Gain potentiel en optimisant la longueur de fibre
***Intérêt du défibrage qui permet un gain pouvant atteindre 51 % pour le vétiver. Cet intérêt est moins marqué pour la bagasse (+11%).
ND : Non déterminé

À retenir

CAHIER DES CHARGES DE LA DÉFIBREUSE

- **Diamètre maximal des fibres : 3 à 5 mm**
- **Longueur minimale des fibres : 3 à 4 cm**
  Incidence négligeable du type de végétal – la conductivité thermique dépend principalement de la longueur des fibres et de la densité
- **Performance thermique des fibres de cryptoméria, de bagasse, de goyavier et de vétiver équivalente à celle de la laine de verre et de la ouate de cellulose traitée (d'environ 0,04 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)**

3/ ÉTUDE DE LA PERFORMANCE HYGROTHERMIQUE DES PROTOTYPES D'ISOLANTS BIOSOURCÉS EN FONCTION DES PRINCIPAUX MODES CONSTRUCTIFS DE LA RÉUNION

Dans le cadre de l'étude, il est nécessaire de définir l'ensemble des couples température-humidité dans les parois comportant des isolants biosourcés afin de définir les températures et les humidités pour l'évaluation de la résistance ou de la vulnérabilité des produits isolants à base de fibres végétales vis-à-vis du développement des moisissures.

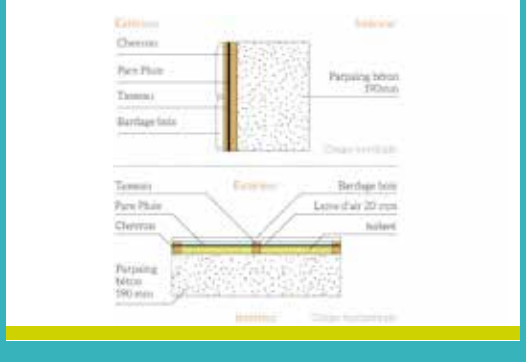
Une étude de la performance hygrothermique a été réalisée avec le logiciel WUFI afin de simuler simultanément les transferts de chaleur, de vapeur d'eau et d'eau liquide dans les parois.
Les simulations sont réalisées sur une période de trois ans et pour un local situé dans 4 zones climatiques représentatives des climats réunionnais (selon étude Pérène, 2009).

Choix des parois :

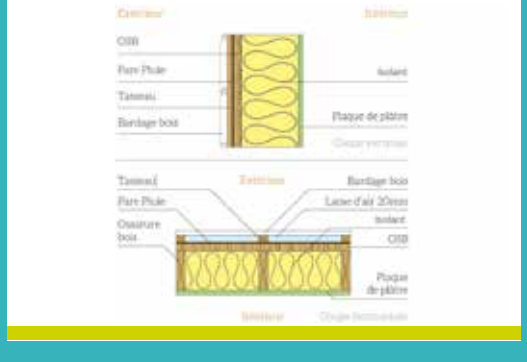
Les types de parois verticales et horizontales sélectionnées correspondent aux parois les plus couramment élaborées à La Réunion permettant la mise en œuvre d'un isolant en vrac (figure 9).

Paroi PV1 : Mur béton isolé par l'extérieur avec bardage en bois - ventilation en sous face de bardage
Paroi PV2 : Mur à ossature bois avec bardage bois à l'extérieur et plaque de plâtre à l'intérieur - ventilation en sous face de bardage
Paroi PH1 : Couverture tôle, écran de sous-toiture, pannes acier avec faux plafond plaque de plâtre rampant – Pas de ventilation en sous face de couverture
Paroi PH2 : Couverture tôle, écran de sous-toiture, pannes bois avec faux plafond plaque de plâtre rampant – Pas de ventilation en sous face de couverture
Paroi PH3 : Couverture tôle, écran de sous-toiture, pannes acier avec faux plafond plaque de plâtre horizontal (combles perdus) - ventilation en sous face de couverture
Paroi PH4 : Couverture tôle, écran de sous-toiture, pannes bois avec faux plafond plaque de plâtre horizontal (combles perdus) - ventilation en sous face de couverture

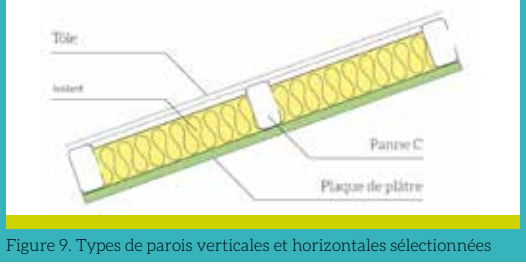
Paroi PV1



Paroi PV2



Paroi PH1



Paroi PH2

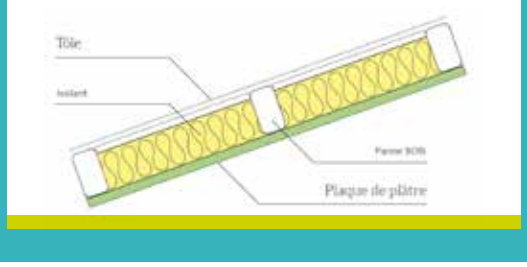
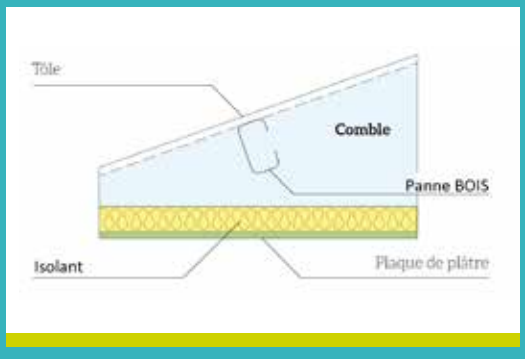


Figure 9. Types de parois verticales et horizontales sélectionnées

Paroi PH3



Paroi PH4

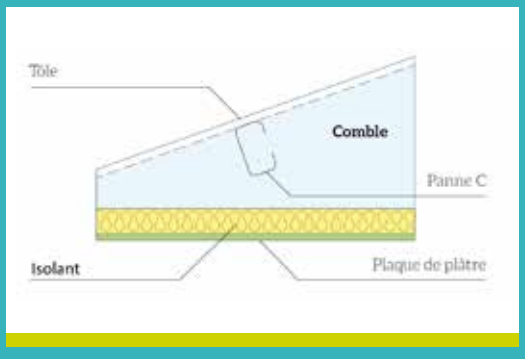


Figure 9. Types de parois verticales et horizontales sélectionnées

Données source / hypothèses :

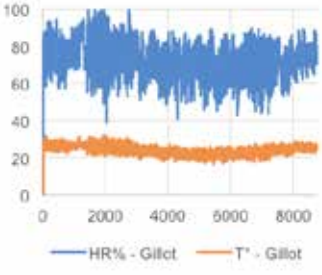
- Les épaisseurs retenues pour les isolants correspondent à une résistance thermique équivalente à celles retenues dans le Guide de pose des isolants (CIRBAT), avec prise en compte des performances thermiques mesurées (cf. § 2).
- Du fait de leur grande proximité en termes de propriétés hygrothermiques, les modélisations ont été menées sur un seul isolant : le bois de goyavier.
- Les plaques de plâtre sont de type H1 (hydrofuges).
- En toiture, les pannes bois ou métalliques support de couverture ont un entraxe de 1,20 m et une section de 120 x 63 mm.
- Les caractéristiques générales des constituants, identiques à celles utilisées habituellement par FCBA et le CSTB dans toutes leurs études prénormatives, sont données dans le tableau 2.

Matériau	Densité ($kg.m^{-3}$)	Porosité (m^{-3}/m^{-2})	Capacité thermique ($J.kg^{-1}.K^{-1}$)	Conductivité thermique ($W.m^{-1}.K^{-1}$)	Facteur de résistance à la diffusion de vapeur d'eau
Fibres de Goyavier	45	0,98	2100	0,039	5
Bagasse	45	0,98	2000	0,044	5
Fibres de Vétiver	30	0,98	2000	0,049	5
Fibres de Cryptomeria	45	0,98	2100	0,046	5
Membrane pare-pluie (murs)	130	0,001	2300	2,3	180
Ecran de sous toiture	130	0,001	2300	2,3	200
Bois de structure (résineux)	455	0,73	1500	0,09	130
Acier (structure ou parement)	4999	0,001	450	50	1000000
Panneau à base de bois (type OSB)	600	0,61	1700	0,13	227
Plaque de plâtre	850	0,65	850	0,2	8,3
Parpaing	1900	0,29	850	1	28

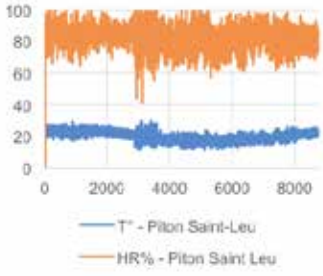
Tableau 2. Caractéristiques générales des constituants

Ambiances extérieures :

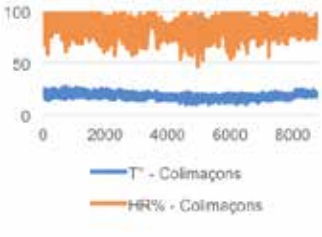
Les 4 zones climatiques déterminées dans l'étude Perene (2009) sont reprises. Ainsi, les données de Météo France des 4 stations de référence suivantes ont été utilisées (figure 10)



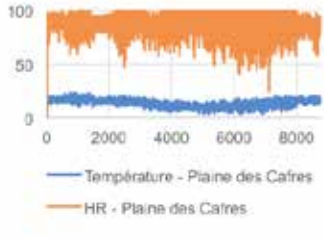
Zone 1 (Altitude <400m) Station météo de Gillot



Zone 2 (Altitude comprise entre 400 et 600m)
Station météo de Piton St-Leu



Zone 3 (Altitude comprise entre 600 et 800m)
Station météo des Colimaçons



Zone 4 (Altitude superieure à 800m)
Station météo de la Plaine des Cafres

Ambiances intérieures :

- Humidité relative intérieure : lorsqu'elle n'est pas régulée, la teneur en vapeur d'eau de l'air intérieur correspond à la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air venant de l'extérieur, à laquelle il faut rajouter la quantité de vapeur d'eau produite par les occupants (métabolisme et activités telles que douches, cuisson, ...), soit 5 g (W/n) de vapeur d'eau par m³ d'air. Le taux d'humidité de l'air intérieur est déterminé par le calcul suivant :

$$\rho_{v\_int} = \rho_{v\_ext} + 5.10^{-3}\, kg/m^3$$

d'où

$$HR_{int} = \frac{(HR_{ext} \times P_{sat}(T_{ext}) \times \frac{M}{RT_{ext}} + 5.10^{-3}) \times \frac{RT_{int}}{M}}{P_{sat}(T_{int})}$$

- Température intérieure : du fait de l'absence de données satisfaisantes, des hypothèses sécuritaires ont été définies afin de pouvoir donner des grandes tendances sur les conditions hygrothermiques des isolants en œuvre tout en étant basé sur la température extérieure.

On retient ainsi 6 scénarios de température intérieure :

- Tint = 25°C pour la zone 1, avec climatisation
- Tint = Text pour la zone 1, sans climatisation
- Tint = Text pour la zone 2, sans climatisation
- Tint = Text pour la zone 3, sans climatisation
- Tint = 23°C pour la zone 4, avec chauffage
- Tint = Text avec un minimum de 15°C pour la zone 4, sans chauffage

Le tableau 3 ci-dessous synthétise les 14 configurations testées.

Numéro de configuration	Type de Paroi	Pare-vapeur dans la paroi et Sd le cas échéant	Climat extérieur				Climat intérieur					
			Zone1	Zone2	Zone3	Zone4	Zone1	Zone1 clim	Zone2	Zone3	Zone4	Zone4 chauf
1	PH1	non	X				X					
2	PH1	non	X					X				
3	PH3	extérieur 90 m	X					X				
4	PV2	extérieur 90 m	X					X				
5	PH4	non	X					X				
6	PH4	non				X						X
7	PH4	intérieur 18 m				X						X
8	PH4	intérieur 18 m				X					X	
9	PV2	intérieur 18m				X						X
10	PH2	non		X					X			
11	PH4	non		X					X			
12	PV2	non		X					X			
13	PV1	non		X					X			
14	PH4	non	X				X					

Tableau 3. Configurations testées – les types de parois sont représentées dans la figure 9

Résultats

La modélisation a permis de déterminer :

- La teneur en eau de la paroi globale
- L'humidité relative dans l'ensemble de l'isolant
- L'humidité relative à la surface extérieure de l'isolant
- L'humidité relative à la surface intérieure de l'isolant
- L'humidité relative de l'isolant contre l'élément de structure (bois ou métal)

Les valeurs d'humidité relative présentées dans le tableau 4 sont les valeurs maximales relevées lors de la 3ème année de modélisation.

Configuration	Tendance sur teneur en eau de l'ensemble de la paroi	Humidité relative (%)			
		Ensemble de l'isolant	Surface de l'isolant côté extérieur	Surface de l'isolant côté intérieur	Surface de l'isolant côté montant
1	stable	93,5	97,5	93	93,8
2	stable	82.1	83.9	89.8	81.9
3	stable	82,2	84,9	89,5	81,3
4	baisse	80,5	85,4	89	80,3
5	stable	83,8	85	90,1	82,9
6	stable	85,1	96	85,9	85,7
7	stable	71,6	88,7	69,3	71,9
8	stable	79,5	91,1	79,9	78,1
9	baisse	69,2	93,5	67,3	71,1
10	augmentation	94,3	98,9	93,4	94,1
11	stable	88,1	92	91,2	87,4
12	stable	90,9	97,1	91	91,5
13	stable	80,7	92,1	82,5	78,8
14	stable	87,1	91	91,3	86,4

Tableau 4. Résultat des simulations hygrothermiques pour chaque scénario

Interprétation des résultats :

Toitures (configurations 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 11 et 14)
D'un point de vue hygrothermique, que la panne soit en bois ou en métal ne fait pas significativement varier l'humidité relative dans les isolants : en effet, au regard des échanges thermiques intérieur / extérieur limités, l'impact du pont thermique est réduit.
Pour l'ensemble des parois pour des locaux non climatisés, avec ou sans pare-vapeur, quel que soit le climat, l'humidité relative est supérieure à 85% sur des périodes supérieures à 48h, voire pour des périodes supérieures à un mois.
Quand le local n'est pas climatisé, avec absence de ventilation, sous une couverture tôle, quelle que soit la zone climatique, l'humidité relative dans l'isolant est très élevée (supérieure à 90%), à la limite de la condensation.
Dans les locaux climatisés de la zone 1, l'effet asséchant de la climatisation associée à un pare-vapeur de Sd 90 m permet aux isolants biosourcés de rester sous la limite de 85% d'humidité relative.
En zone 4 (climat des Hauts), l'absence de chauffage induit une augmentation de l'humidité relative dans l'isolant de la toiture de près de 10%. De même pour les Hauts, en saison froide, l'absence de pare-vapeur crée des conditions d'humidité sévères côté extérieur de la paroi, où on se situe à la limite de la condensation.

Murs à ossature bois (configurations 4, 9 et 12)
Pour les scénarios climatiques générant le gradient thermique le plus important entre l'intérieur et l'extérieur de la paroi, (zone 1 avec climatisation, zone 4 avec chauffage), l'humidité relative dans les isolants est limitée dans certains cas grâce à la mise en œuvre d'un pare-vapeur du côté « chaud » de la paroi.
Pour les parois sans pare-vapeur, quel que soit le climat, et pour les climats ne générant pas de différence de température intérieur / extérieur (zone 2 et 3), l'humidité relative est élevée, supérieure à 85% de longues parties de l'année.
En zone 1, et uniquement dans des locaux climatisés à faible hygrométrie (logements bien ventilés, bureaux,...), l'effet asséchant de la climatisation associée à un pare-vapeur de Sd 90 m permet aux isolants biosourcés de rester sous la limite de 85% d'humidité relative.

Murs béton isolés par l'extérieur (configuration 13)
L'effet « tampon » du béton ou de la maçonnerie permet aux isolants positionnés côté extérieur de la paroi d'être légèrement protégés des apports d'humidité intérieurs.
Malgré cet effet masse de la paroi support, l'humidité des climats extérieurs quelle que soit la zone climatique, est supérieure à 85% d'humidité relative de longues parties de l'année.
En zone 1, et uniquement dans des locaux climatisés à faible hygrométrie (logements bien ventilés, bureaux,...), l'effet asséchant de la climatisation associée à un pare-vapeur de Sd 90 m permet aux isolants biosourcés de rester sous la limite de 85% d'humidité relative.

4/ IDENTIFICATION DES MOISISSURES PRÉSENTES DANS LES BÂTIMENTS À LA RÉUNION :

L'identification des moisissures dans les bâtiments à La Réunion a été menée par FCBA et le CSTB à différentes périodes et sur des matériaux différents à l'intérieur de bâtiments visuellement infestés (murs, plâtres, cloisons etc...) et sur des matériaux biosourcés et des isolants exposés dans des bâtiments réunionnais pendant 3 mois

Les prélèvements sur les matériaux à l'intérieur des bâtiments réunionnais ont été réalisés à l'aide de techniques classiques de prélèvement telles que les écouvillonnages, les scotchs.

Les prélèvements des matériaux biosourcés et des isolants ont été réalisés dans la masse avec une extraction des microorganismes par mise en solution et utilisation d'un mélangeur.

4.1. PRÉLÈVEMENTS DIRECTS SUR MATÉRIAUX INFESTÉS :

Un recensement de bâtiments présentant des contaminations fongiques visibles, identifiés par les acteurs de terrain du CIRBAT, a été réalisé. Les bâtiments ont été sélectionnés selon leur localisation afin de disposer d'environnements répartis dans différentes zones climatiques de l'île distinguées sur la base de leur altitude (Tableau 5).

Des prélèvements de moisissures ont été réalisés par FCBA et le CSTB lors de deux campagnes respectivement en octobre 2017 et en mars 2018 dans 12 bâtiments : habitations collectives, individuelles mais également dans des bâtiments administratifs et/ou techniques recevant ou non du public (Figure 11).

Code	Sites de prélèvement	Altitude (m)
A	Saint-Denis – Maison forestière	67
B	Saint-André – CFA	109
C	Saint-André – collège	117
D	Saint-Benoît – UTR EST	163
E	Saint-Denis – Maison Particulier	190
F	Sainte-Suzanne – Appartement particulier	309
G	Saint-Leu - Conservatoire Jardin de Mascarin	523
H	Le Tampon – UT	534
I	Saint-Leu – Appartement particulier	848
J	Plaine des Palmistes - Domaine des Tourelles	1026
K	Le Tampon 23ème – PMI UT	1150
L	Plaine des Cafres – Atelier Ex. APECA	1546

Tableau 5 : localisation et désignation des douze environnements intérieurs investigués

Figure 11. Sites de prélèvement des moisissures - les lettres sur les photos correspondent aux codes des sites du tableau 5

Figure 11. Sites de prélèvement des moisissures - les lettres sur les photos correspondent aux codes des sites du tableau 5

Caractérisation de la mycoflore sur les produits de construction en environnement intérieur

Des examens microscopiques directs (matériaux prélevés) et indirects (scotch test) ont été réalisés. Cette première approche a permis d'objectiver la présence de micromycètes appartenant aux genres *Cladosporium* et *Stachybotrys*. Ces Observations ont été complétées par la mise en culture des prélèvements (figure 12) et le recours à des analyses moléculaires le cas échéant.

Après 7 à 10 jours d'incubation, des examens macroscopique et microscopiques des cultures ont été réalisés sur les différents milieux. Les thalles isolés différenciés ont été sélectionnés et repiqués sur les mêmes milieux de culture, afin d'obtenir des souches pures compatibles avec les exigences des analyses moléculaires.

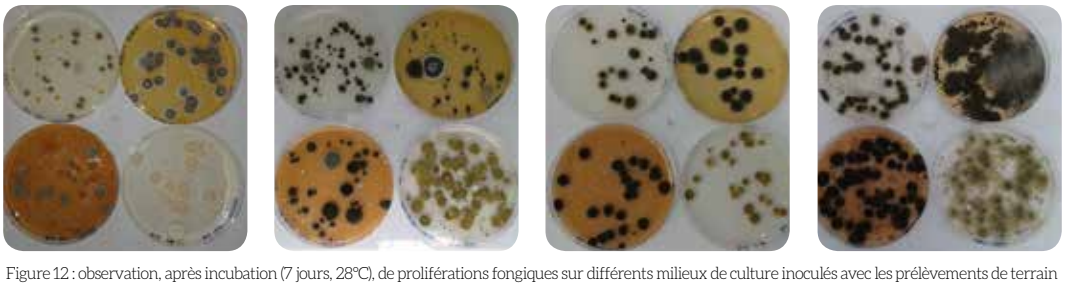


Figure 12 : observation, après incubation (7 jours, 28°C), de proliférations fongiques sur différents milieux de culture inoculés avec les prélèvements de terrain

Analyse d'ADN fongique :

Afin d'identifier des structures fongiques non différenciées par méthode culturale ou de distinguer les espèces d'un même genre, difficilement différenciables sur la seule base de leurs caractères macroscopiques et microscopiques, à l'instar des genres *Cladosporium*, *Penicillium* ou *Aspergillus*, nous avons eu recours à l'analyse moléculaire.

Résultats et discussion :

Tous sites confondus, 88 moisissures différentes ont été isolées sur la base de la méthode culturale et de l'analyse moléculaire. La figure 13 indique la représentativité des genres fongiques identifiés.

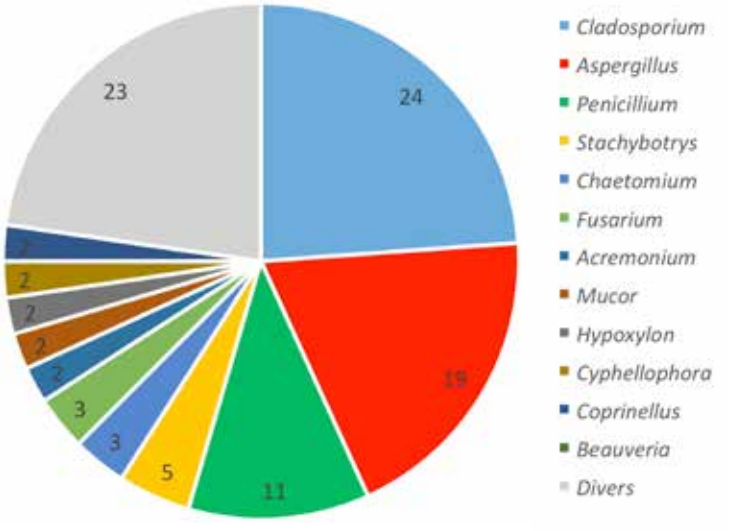


Figure 13 : Répartition des genres fongiques isolés sur les produits de construction et de décoration au sein des 12 environnements intérieurs investigués exprimée en % par rapport au nombre total de champignons identifiés. Les genres/espèces isolés sur un seul prélèvement sont regroupés sous l'item « divers ».

D'après ces résultats, il apparait que :

- Près d'un quart des espèces isolées n'a été retrouvé que sur un seul prélèvement,
- les genres *Cladosporium*, *Aspergillus* et *Penicillium* sont majoritairement représentés avec les espèces A. *niger*, A. *versicolor*, *Cladosporium Cladosporoides* et *Penicillium brevicompactum* identifiées.

Ce dernier résultat est cohérent avec la bibliographie internationale. Ainsi le rapport du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF, 2006) a recensé, au travers d'une méta analyse, que parmi les moisissures décrites dans l'habitat, une soixantaine d'espèces sont fréquemment identifiées. Et dans 90% des logements avec des moisissures, les trois genres les plus fréquents sont : *Cladosporium*, *Penicillium* et *Aspergillus*.

Ces résultats sont également cohérents avec la bibliographie en zone tropicale, peu fournie au demeurant. Ainsi, le rapport d'expertise collective de l'ANSES « Etat des connaissances sur l'impact sanitaire des pollens et des moisissures allergisants de l'air ambiant sur la population générale des départements et régions d'outre-mer » relève qu'une étude consacrée à l'analyse des moisissures de l'air extérieur à La Réunion (Saint-Denis et Saint-Paul) a conclu, pour les spores asexuées, à la prédominance des genres *Aspergillus, Penicillium* et *Cladosporium* avec un taux de spores de moisissures moyen présentant deux pics annuels : entre décembre et janvier puis en février.

4.2. EXPOSITION D'ÉCHANTILLONS DE MATÉRIAUX

Le recueil des bâtiments n'ayant pas permis d'identifier de locaux avec des isolants contaminés par des moisissures, des échantillons de chaque type de végétaux, conditionnés dans des grillages métalliques inertes et d'isolants métropolitains (ouate de cellulose traitée et laine de verre) ont été disposés au-dessus des faux plafonds de 8 bâtiments pendant une période de 3 mois durant le premier semestre 2018. Le Tableau 6 présente la situation desdits bâtiments. La Figure 14 illustre la mise en place des éprouvettes.

Zone	Lieu	Altitude
ZONE 1	Saint-Paul - CFA de Saint-Gilles les hauts - Salle des profs	343m
	Saint-André - ORLAT – Laboratoire	109m
ZONE 2	Saint-Leu - Conservatoire Jardin de Mascarin	523m
	Le Tampon - Unité territoriale Département	534m
ZONE 3	Saint-Paul - Bibliothèque du Guillaume	611m
	Le Tampon - 11ème – Particulier	667m
ZONE 4	Le Tampon - Plaine des cafres - Unité Territoriale Département	1350m
	Plaine des Palmistes - Domaine des Tourelles	1059m

Tableau 6 : Situation des bâtiments dans lesquels ont été disposés les différents matériaux d'intérêt selon la zone géographique (PERENE 2009).

Figure 14. Eprouvette de Vétiver et mise en place des éprouvettes

Le tableau 7 présente la flore microbienne extraite des différents isolants exposés en zone climatique 4 et cultivée sur différents milieux. La Figure 15 présente la répartition des 8 genres fongiques identifiés extraits des matériaux exposés durant deux périodes de 3 mois (février à mai 2018 et avril à juin 2018) au niveau du faux plafond dans des bâtiments situés dans les 4 zones climatiques.

Nature isolant	Observation de la flore microbienne cultivée sur différents milieux
Bagasse	
Cryptoméria	
Vétiver	
Goyavier	
Ouate de cellulose traitée	
Laine de verre	

Tableau 7 : illustration de la flore microbienne extraite des différents isolants après exposition durant 3 mois dans le faux plafond de bâtiments situés en zone climatique 4.

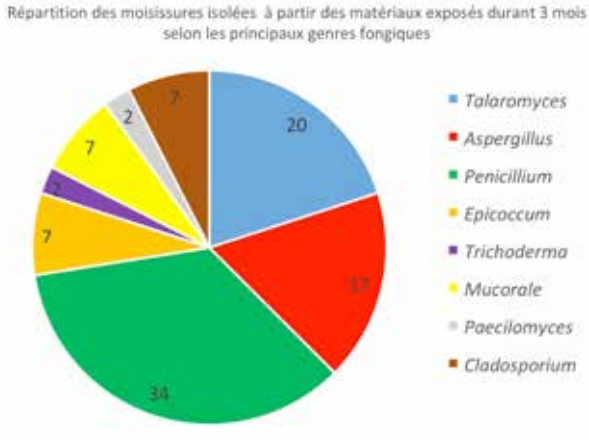


Figure 15 : Répartition des genres fongiques identifiés à partir des différents isolants exposés durant 3 mois dans les 4 zones climatiques investiguées à partir de 41 identifications de moisissures (compilation des résultats des 2 campagnes d'exposition)

Parmi ces 8 genres :

- ***Penicillium*** est le genre le plus largement retrouvé, isolé dans toutes les zones. Plus d'une dizaine d'espèces différentes ont été distinguées sur la base de leur morphologie.
- ***Talaromyces***, dont 5 espèces différentes (dont la plupart étaient classées dans le genre ***Penicillium*** auparavant) ont pu être identifiées par analyse moléculaire, a été retrouvé sur tous les isolants, exceptés la ouate de cellulose et le goyavier, dans les zones 1 à 3.
- ***Aspergillus*** est retrouvé sur tous les isolants exceptés sur le goyavier et sur la ouate de cellulose traitée qui présente, quant à elle, une flore fongique limitée constituée de ***Penicillium*** pour les zones 2 à 4
- ***Cladosporium*** a été isolé à partir de la bagasse et du vétiver exclusivement en zone climatique 3,
- Les genres ***Trichoderma*** et ***Mucorale***, extraits du cryptoméria après exposition, avaient également été identifiés sur cette matière première non exposée.

5/ ÉVALUATION DE LA DURABILITÉ DES PROTOTYPES D'ISOLANTS BIOSOURCÉS FACE AUX MOISISSURES ISSUES DE LA RÉUNION

Choix du consortium fongique réunionnais utilisé pour évaluer la durabilité des prototypes élaborés à partir de végétaux locaux:

Parmi toutes les souches prélevées localement, le choix des espèces fongiques a été orienté par différents critères :

- leur fréquence d'identification,
- leur capacité à sporuler,
- leur capacité à être utilisées en mélange
- leur diversité d'exigence en eau,

L'analyse des résultats de terrain obtenus selon cette grille de lecture a permis de sélectionner 4 souches fongiques :

- ***Aspergillus niger*** (souche isolée à partir de bagasse exposée en zone 3 - Saint-Paul, bibliothèque du Guillaume)
- ***Penicillium brevicompactum*** (isolé à partir d'un mur en béton peint dans l'atelier - zone 4)
- ***Cladosporium cladosporoides*** (isolé à partir d'un mur de salle de bain – zone 4 Saint Leu)
- ***Trichoderma atroviride*** (isolé à partir de cryptoméria non exposé).

Evaluation de la durabilité des prototypes d'isolants dans les conditions réelles relevées dans les parois:

La durabilité comparative des isolants vis-à-vis des moisissures a été réalisée :

- En testant les matériaux biosourcés issus de La Réunion : Bagasse défibrée, Goyavier défibré, Cryptomeria défibré, Vétiver défibré ;
- En testant par comparaison des isolants de référence : laine de verre et ouate traitée ;
- En prenant en compte les 4 souches de moisissures isolées à La Réunion ;
- En prenant en compte les conditions hygrothermiques des isolants dans les climats réunionnais, soit :
  - 28°C +/-2°C et 95 % d'humidité relative pour la majorité des bâtiments ;
  - 28°C +/-2°C et 85 % d'humidité relative pour les bâtiments climatisés et en zone 1 (altitude inférieure à 400 m) ;
- En s'appuyant sur la méthodologie de base développée pour tester la résistance des isolants aux moisissures en métropole (Méthode isolants moisissures FCBA CSTB).

Ainsi, deux séries de test ont été réalisées: la première à 28°C+/-2°C et 85 % d'humidité relative et la seconde à 28°C+/-2°C et 95 % d'humidité relative.

Résultats :

Le tableau 8 présente le résultat de la résistance des prototypes et matériaux de référence face aux souches de moisissures selon les deux ambiances climatiques testées.

Matériau testé	Conclusion après exposition à 28°C et 85 % d'humidité relative	Conclusion après exposition à 28°C et 95 % d'humidité relative
Ouate traitée	Résistant	Résistant
Laine de verre	Résistant	Résistant
Cryptomeria défibré	Non résistant	Non Résistant
Bagasse défibrée	Non résistant	Non résistant
Goyavier défibré	Non résistant	Non résistant
Vétiver défibré	Non résistant	Non résistant

Tableau 8 : Résistance de la ouate traitée, de la laine de verre et des matériaux biosourcés défibrés, aux moisissures (de La Réunion) après exposition à 28°C et 85 % d'humidité relative (HR) et après exposition à 28°C et 95% d'humidité relative pendant 4 semaines - Conclusions établies à partir d'une moyenne sur 9 échantillons analysés en fin d'essai pour chaque matériau

Bagasse défibrée (x125)

Goyavier défibré (x50)

Vétiver défibré (x40)

Cryptoméria défibré (x20)

Ouate traitée (x20)

Laine de verre (x25)

Figure 16 : Photographies en fin d'essai sur les matériaux testés, à la loupe binoculaire – Test à 28°C et 85 % d'humidité relative après exposition aux moisissures pendant 4 semaines.

Conclusions :

Les matériaux de référence (ouate traitée avec 4.4% d'acide borique et laine de verre) sont résistants au développement de moisissures de La Réunion à 28°C et 85% d'humidité relative et à 28°C et 95% d'humidité relative.

Les quatre matériaux défibrés réunionnais se sont révélés non résistants vis à vis des moisissures pour les deux conditions de test utilisées : 28°C et 85 et 95 % d'humidité relative.

6/ ÉVALUATION DE LA DURABILITÉ DES PROTOTYPES D'ISOLANTS BIOSOURCÉS FACE AUX TERMITES DE LA RÉUNION

La durabilité des prototypes d'isolants biosourcés défibrés (vétiver, bagasse de canne à sucre, cryptomeria et goyavier) et des matériaux de référence (Ouate de cellulose traitée et laine de verre) a été déterminée en laboratoire face au termite souterrain *Coptotermes gestroi* (figure 18).

Figure 18. Termites : soldats (à gauche) et ouvrier (à droite) appartenant à l'espèce *Coptotermes gestroi*

Ainsi, pour chaque type d'isolants, deux essais ont été réalisés :
Le premier essai consiste à déterminer si l'isolant peut être traversé par les termites.

Cet essai a été réalisé selon la méthodologie décrite dans la norme XP X 41550 (2009) adaptée. Il s'agit d'introduire l'isolant dans un tube en verre. Ce tube est placé entre deux compartiments : le compartiment supérieur contient de la mousse florale et 160 termites ; le compartiment inférieur contient du sable humide et un morceau de bois (aubier de pin sylvestre) que les termites pourront consommer s'ils traversent l'isolant. Pour chaque isolant, les quatre dispositifs réalisés (figure 19) sont observés pendant quatre semaines.

Figure 19. Dispositifs d'essais réalisés selon la norme XP X 41550 adaptée

Le second essai consiste à évaluer si l'isolant peut être consommé par les termites.
Cet essai a été réalisé selon la méthodologie décrite dans la norme EN 117 (2013) adaptée. Ainsi, pour chaque isolant à l'essai, cinq micro termitières comprenant du sable humide et un groupe de 260 termites sont constituées. Un échantillon d'isolant est alors placé dans chacune des boites d'essai, constituant la seule source de nourriture possible pour les termites (figure 20). Ces dispositifs sont observés pendant 8 semaines.

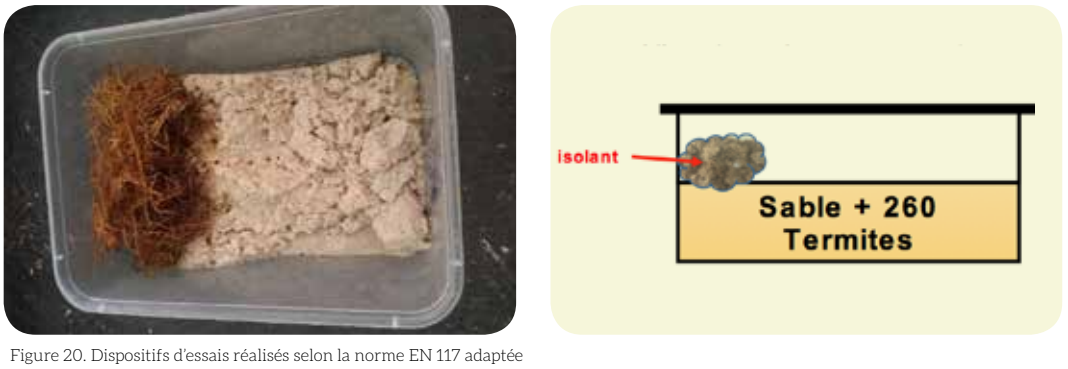


Figure 20. Dispositifs d'essais réalisés selon la norme EN 117 adaptée

Résultats et conclusions :

Le tableau 9 synthétise le résultat des essais réalisés afin d'évaluer la résistance des matériaux face aux attaques du termite souterrain Coptotermes gestroi à La Réunion. La figure 21 illustre ces résultats.

Matériau	Le matériau est-il traversé par les termites			Le matériau est-il consommé par les termites	
	Traversé	Moyenne Dégâts éprouvette bois	% de survie des termites	Consommation	% de survie des termites
Vétiver défibré	OUI	4	46,88%	NON	0.00%
Cryptomeria défibré	OUI	3	36,25%	OUI	33.38%
Bagasse défibrée	OUI	4	60,63%	OUI	47.77%
Goyavier défibré	OUI	4	40,00%	OUI	34.08%
Laine de Verre	OUI	4	78,13%	NON	0.00%
Ouate de cellulose traitée avec 4.4% d'acide borique	OUI	4	0,00%	NON	0.00%

Tableau 9. Résultats des essais de résistance face aux termites Coptotermes gestroi

Figure 21. Illustration des matériaux testés face aux termites après mise en présence (à gauche : selon XP X 41550 – à droite : selon EN 117)

À retenir

Les deux isolants utilisés comme témoins dans cette étude, ouate de cellulose traitée et laine de verre, ne sont pas consommés par les termites. De la même manière, les fibres de vétiver ne sont pas consommées non plus. Ainsi, pour ces trois types d'isolants, le taux de survie des termites en fin d'essai est nul.
Les fibres de cryptomeria, de bagasse de canne à sucre et de bois de goyavier ne sont pas résistantes aux attaques de termites puisqu'elles permettent la bonne survie des termites durant les 8 semaines d'essai.

7/ TRAITEMENT DES FIBRES

Afin d'améliorer la résistance des matériaux biosourcés défibrés vis-à-vis des moisissures et des termites, un traitement standard a été appliqué. Ce traitement est similaire à celui appliqué sur la ouate de cellulose. Il s'agit d'une solution aqueuse d'acide borique qui permet d'imprégner les fibres. Ce traitement a été appliqué de façon à obtenir une concentration de 4.4 % (m/m) d'acide borique dans les fibres.
Les fibres ainsi traitées ont été testées face aux moisissures et aux termites Coptotermes gestroi. Les résultats sont présentés dans le tableau 10.

Matériau testé	Résistance aux moisissures après exposition à 28°C et 95 % d'humidité relative	Résistance aux termites
Ouate traitée*	Résistant	Résistant
Laine de verre	Résistant	Résistant
Cryptomeria défibré traité*	Résistant	Résistant
Bagasse défibrée traité*	Résistant	Résistant
Goyavier défibré traité*	Résistant	Résistant
Vétiver défibré traité*	Résistant	Résistant

Tableau 10 : Résistance des isolants et des prototypes d'isolants biosourcés traités (en moyenne 4,4% m/m d'acide borique vis-à-vis des moisissures et des termites de La Réunion

* Traitement en moyenne à 4.4% d'acide borique (m/m dans la fibre)

À retenir

Quels isolants sont résistants aux termites et aux moisissures de La Réunion dans les conditions hygrothermiques réunionnaises ?

- Matériaux biosourcés défibrés (issus de cryptoméria, de vétiver, de goyavier et de bagasse) et traités avec un produit fongicide et insecticide équivalent en nature et en teneur à celui de la ouate de cellulose traitée
- Laine de verre
- Ouate de cellulose traitée à l'acide borique

8/ FAISABILITÉ TECHNICO-ÉCONOMIQUE

L'objectif de cette tâche était d'évaluer la pertinence économique d'isolants fabriqués sur l'Ile de La Réunion à partir de ressources locales en termes de coûts comparés et au regard de la disponibilité de la ressource pour de nouveaux usages (figure 22).

Disponibilité de la ressource

La bagasse est la ressource présentant le plus gros potentiel de développement pour la fabrication d'isolants bio-sourcés. Sa disponibilité est forte. En revanche, le coût d'approvisionnement de la matière première (estimé à partir des données collectées) semble plus élevé que celui des autres ressources.

Le goyavier pourra présenter un coût d'approvisionnement faible dans la mesure où il s'agit d'une plante invasive qui trouve peu de débouchés aujourd'hui. De plus, sa disponibilité est évaluée comme forte. Néanmoins, les essais techniques ont montré que la fibre était plus dure que celle des autres ressources, entraînant un coût de défibrage plus élevé. Par ailleurs, il n'existe pas pour le moment de filière de collecte, qui serait donc à créer.

Le vétiver a montré une bonne faisabilité technique. Il serait relativement aisé de le collecter dans la mesure où il existe peu de producteurs qui plus est bien identifiés. A l'inverse, sa disponibilité est faible.

Enfin, **le cryptomeria** présente également des avantages en termes de faisabilité technique et d'existence d'une filière de collecte mais sa disponibilité pour de nouveaux usages est évaluée comme moyenne.

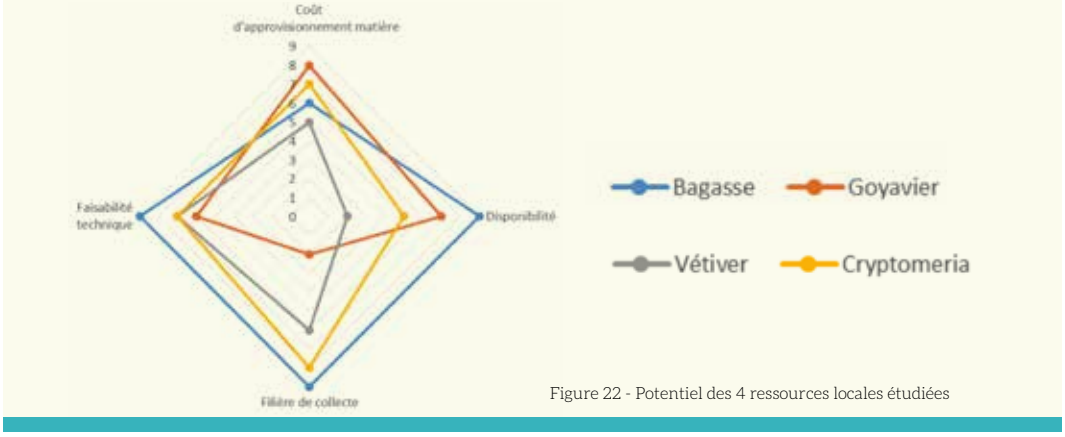


Figure 22 - Potentiel des 4 ressources locales étudiées

Coûts comparés de process

Pour l'analyse des coûts, la collecte des données a été rendue difficile par le manque d'accessibilité à certaines données. Ainsi l'estimation des coûts d'accès à certaines matières premières identifiées est essentiellement issue d'échanges avec les acteurs locaux.

Concernant les données de process et de transformation, les estimations sont issues de données de tests en laboratoire. Ces données pourraient fortement différer dans un process semi-industriel voire artisanal. Néanmoins, cela permet d'avoir une base de réflexion.

En termes d'investissement, un défibreur de base, sans apport de vapeur d'eau pendant le process de défibrage, représente une somme entre 2 000 € et 50 000 €, selon la productivité machine souhaitée.

Pour mémoire, l'objectif est d'avoir un outil de production permettant d'obtenir des fibres avec les caractéristiques suivantes :

- Diamètre / section maximum : 3 à 5 mm
- Longueur minimale : 3 à 4 cm

En termes de prix de vente des isolants à La Réunion, à utilisation comparable, les chiffres établis dans le cadre de nos enquêtes varient entre 60 et 120 € / m^3 pour de la laine minérale importée et entre 170 et 300 € / m^3 pour de la ouate de cellulose importée. Ces fourchettes doivent constituer une cible pour les isolants retenus dans le cadre du projet.

A titre de comparaison le coût en fourniture simple sur des filières courtes de production d'isolants biosourcés en vrac en métropole, issus de co-produits / sous-produits d'origine agricole (chanvre, paille,...) est compris entre 70 et 80 € / m^3. A ce coût doit s'ajouter celui du traitement de préservation nécessaire pour permettre l'usage de ces ressources à La Réunion (environ +50 € / m^3 et process de traitement).

Les cibles de prix sont donc potentiellement atteignables, en mettant un isolant biosourcé produit localement au prix d'un isolant non-biosourcé d'importation.

A noter également, pour la bagasse, au vu des performances thermiques du produit brut, la possibilité de ne pas la défibrer permettrait d'éviter les coûts d'investissement en machine de défibrage.

9/ RECONNAISSANCE TECHNIQUE D'UN ISOLANT AVANT MISE SUR LE MARCHÉ

Pour être efficacement déployés, les produits isolants à base de fibres végétales, à l'instar des produits traditionnels, doivent respecter un certain nombre de conditions de mise en œuvre : aptitude à l'emploi, résistance au feu, à l'humidité, aux attaques des insectes et moisissures, etc. Pour les aspects durabilité, l'incorporation de substances antifongiques, insecticides ou autres biocides peut être nécessaire pour assurer la pérennité des performances de tels isolants.

Ce chapitre a pour objectif de guider le fabricant dans l'évaluation des produits isolants à base de fibres végétales.
Afin de fournir aux futurs utilisateurs des matériaux performants et leur garantir l'assurabilité de leurs ouvrages, les isolants produits conformément aux prescriptions définies dans le cadre du projet doivent être évalués. Un certain nombre de justificatifs techniques doivent donc être fournis :

- **Fiche technique ou fiche signalétique des composants**
  Une fiche technique ou signalétique détaillée est à établir pour chaque procédé ou produit. Les constituants, notamment les traitements fongicides ou ignifugeants, sont à définir dans cette fiche et notamment la liste des numéros CAS de ces substances actives ainsi que leur proportion en masse dans le produit fini.

- **Description de la fabrication**
  - lieu de la fabrication,
  - contrôles matières premières, fabrication, produits finis :
    - nature des contrôles,
    - fréquences,
    - référentiels,
    - seuils retenus.

- **Description de la mise en œuvre**
  La mise en œuvre doit être précisément décrite par un « pas à pas » du processus de pose accompagné de détails d'exécution illustrés par des schémas et/ou commentaires :

- **Description de la mise en œuvre du procédé**
  - en partie courante,
  - aux jonctions linéiques (interface mur / plafond, mur / plancher…),
  - traitement des points singuliers : fenêtres, pénétrations (conduit, câble, tuyauterie, gaines de ventilation, etc.).

- **Mode d'application**

- **Composition totale de la paroi** (revêtements intérieur / extérieur, structure, membranes pare-pluie / pare-vapeur / hygrorégulante, écran de sous toiture, isolants complémentaires, etc.)

- **Caractéristiques nominales de mise en œuvre**

- **Hygiène et sécurité**
  Préciser les moyens nécessaires à la protection des opérateurs lors de la mise en œuvre si besoin (présence de produits chimiques, particules volatiles, etc.).

Performance d'isolation thermique

La performance d'isolation thermique du procédé est exprimée :

- en conductivité thermique utile du produit,
- en résistance thermique utile du produit,
- en coefficient de déperdition U de la paroi complète dans laquelle sera intégré l'isolant.

La performance thermique s'obtient comme pour tous les procédés par application des Règles Th-U. La conductivité ou résistance thermique est mesurée à 10°C, à l'état sec et à l'état humide selon les normes NF EN 12664, NF EN 12667, NF EN 12939.

Les valeurs utiles sont déterminées sur la base :

- Soit de valeurs certifiées ;
- Soit de valeurs mesurées (λ, R, etc.) corrigées ;
- Soit de valeurs forfaitaires.

Le calcul tient compte :

- De la résistance thermique utile du produit, en intégrant des facteurs de vieillissement éventuels et de son taux d'humidité utile
- Des résistances thermiques superficielles conventionnelles des deux côtés intérieur et extérieur de la paroi,
- De l'inclinaison de la paroi
- Du mode de pose de l'isolant
- Des ponts thermiques éventuels intégrés dans la paroi (fourrures, chevrons, panne, suspente, réduction d'épaisseur au droit des fixations, etc.).

Caractéristiques de durabilité vis-à-vis des moisissures et des insectes

Le classement sur la résistance du produit aux moisissures est réalisé selon la « Méthode isolants moisissures FCBA-CSTB », exprimé avec une cotation 0, 1 ou 2 et un nombre d'unités fongiques cultivables exprimé en log10 UFC/cm^3.

Vis-à-vis des termites, les deux essais suivants doivent être menés:

- Essai de traversée par les termites selon la méthodologie décrite dans la norme XP X 41550 adaptée
- Essai de consommation par les termites réalisé selon la méthodologie décrite dans la norme EN 117 adaptée

10/ PRESCRIPTIONS DE MISE EN ŒUVRE DES ISOLANTS BIOSOURCÉS À LA RÉUNION

Les préconisations techniques suivantes sont définies pour garantir la durabilité des isolants biosourcés lors de leur mise en œuvre en toitures (rampants et combles perdus) ou en parois verticales (murs à ossature bois et murs en béton ou maçonnerie isolés par l'extérieur) et réduire autant que possible l'humidité dans les matériaux.
La suite du document précise les préconisations relatives à :

- La conception des cavités dans lesquelles sera installé l'isolant
- La mise en œuvre effective de l'isolant pour chaque configuration.

Conception générale du bâtiment

Quelle que soit la zone climatique, l'air intérieur doit être renouvelé en permanence : soit par ventilation naturelle conformément aux prescriptions de la RTAA DOM, soit par une ventilation mécanique permettant aux locaux d'être classés en faible ou moyenne hygrométrie ($W/n \leq 5$ g/m^3, W étant la production de vapeur d'eau dans le local exprimée en g/h et n le taux de renouvellement d'air en m^3/h).

Dans les Hauts (altitude > 800 m), le bâtiment doit être équipé d'un dispositif de chauffage permettant de maintenir la température intérieure des locaux à plus de 20°C.

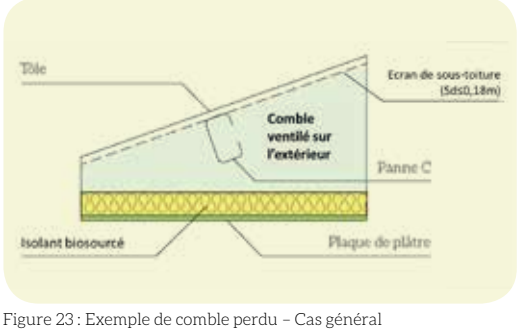


Figure 23 : Exemple de comble perdu – Cas général

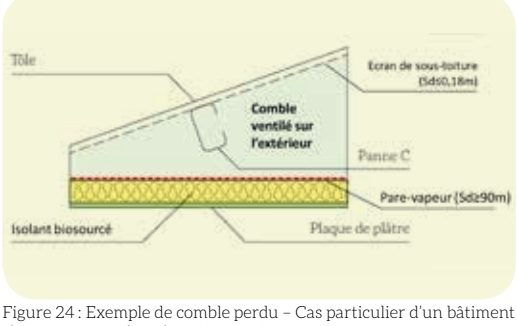


Figure 24 : Exemple de comble perdu – Cas particulier d'un bâtiment climatisé à une altitude inférieure à 400 m

Préconisations de conception des rampants de toiture et des combles perdus (fig. 23 et 24)

La ventilation en sous-face de la couverture ou dans le volume de comble perdu doit être continue et efficace : épaisseur minimale de la lame d'air de 40 mm, surface d'entrée / sortie d'air pour chaque versant de toiture équivalente au moins à 1/1000 pour les entrées d'air et 1/1000 pour les sorties d'air.
Dans les locaux non climatisés, à une altitude supérieure à 400 m, un écran de sous-toiture de Sd inférieur à 0,18 m doit être mis en œuvre afin d'évacuer les éventuels condensats en sous-face de la couverture et protéger les isolants biosourcés de tout apport d'eau liquide.

Dans le cas particulier des locaux climatisés, à une altitude inférieure à 400 m, un pare-vapeur de Sd supérieur ou égal à 90 m doit être positionné côté extérieur de la paroi. Si ses propriétés d'étanchéité à l'eau le permettent, ce pare-vapeur peut également jouer le rôle d'écran de sous-toiture (figure 24).

Résistances thermiques minimales (Rmin) des isolants biosourcés en toiture:

- Pour les locaux climatisés de la zone 1 (altitude < 400 m) ou les locaux chauffés de la zone 4 (altitude > 800 m) : Rmin = 2,3 m^2.K/W
- Pas d'exigences supérieures à celles de la RTAA DOM pour les autres cas.

Préconisations de conception des murs à ossature bois (fig. 25, 26 et 27)

La ventilation à l'arrière du revêtement extérieur doit être continue et efficace : épaisseur minimale de la lame d'air de 20 mm, surfaces d'entrée / sortie d'air équivalente à au moins 50 cm² par mètre de façade.

Dans le cas particulier des locaux climatisés en zone 1 (altitude < 400 m), un pare-vapeur de Sd supérieur ou égal à 90 m doit être positionné côté extérieur de la paroi (figure 26).

Dans le cas des locaux chauffés en zone 4, un pare-vapeur de Sd supérieur ou égal à 18 m doit être positionné côté intérieur de la paroi (figure 27).

Résistances thermiques minimales (Rmin) des isolants biosourcés des murs à ossature bois:

- Pour les locaux climatisés de la zone 1 (altitude < 400 m) ou les locaux chauffés de la zone 4 (altitude > 800 m) : Rmin = 2,7 m².K/W
- Pas d'exigences supérieures à celles de la RTAA DOM pour les autres cas.

Préconisations de conception des parois en maçonnerie ou béton isolées par l'extérieur (fig. 28)

Résistances thermiques minimales (Rmin) des isolants biosourcés utilisés en isolation thermique par l'extérieur des murs en béton ou en maçonnerie :

- Pour les locaux climatisés de la zone 1 (altitude < 400 m) ou les locaux chauffés de la zone 4 (altitude > 800 m) : Rmin = 1,0 m².K/W
- Pas d'exigences supérieures à celles de la RTAA DOM pour les autres cas.

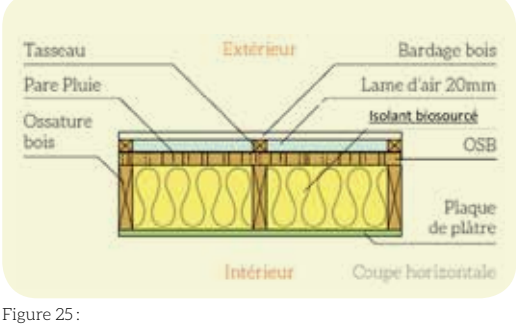


Figure 25 :
Exemple de mur à ossature bois – Cas général

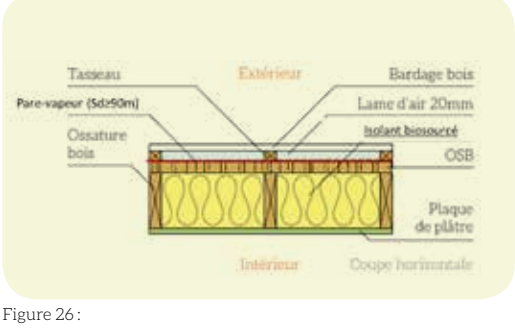


Figure 26 :
Exemple de mur à ossature bois – Cas particulier d'un bâtiment climatisé à une altitude inférieure à 400 m

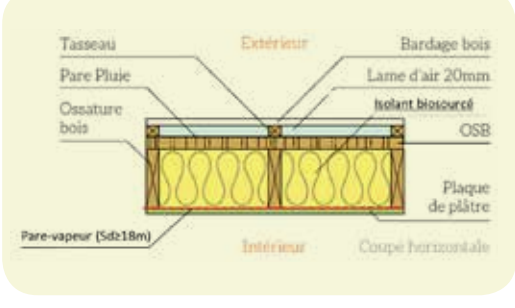


Figure 27 :
Exemple de mur à ossature bois – Cas particulier d'un bâtiment à une altitude supérieure à 800 m

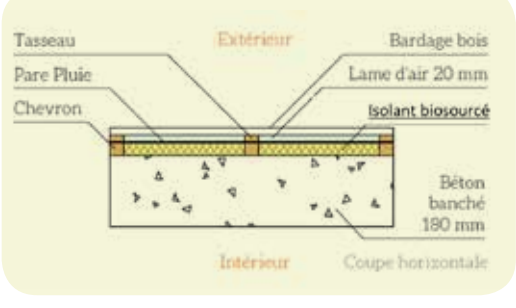


Figure 28 :
Exemple de parois en maçonnerie ou béton isolées par l'extérieur

Prescriptions de mise en œuvre d'un isolant en vrac en combles perdus

Il existe deux types possibles de mise en œuvre pour les planchers de combles perdus :

- Par épandage manuel avec un cardage (décompactage) efficace
- Par soufflage réalisé à l'aide d'une machine pneumatique permettant l'application du produit dans la plage de masse volumique cible : 45 kg/m^3 ± 5 kg/m^3

La mise en œuvre doit être réalisée en s'inspirant du Cahier des Prescriptions Techniques communes de mise en œuvre des procédés d'isolation thermique de combles par soufflage d'isolant en vrac (cahier CSTB 3693-V2 de juin 2015)* avec la spécificité suivante concernant le tassement :

La différence entre l'épaisseur d'isolant installée et l'épaisseur utile obtenue après le tassement sera maximum de 20% (exemple : pour une épaisseur installée de 100 mm, l'épaisseur utile sera de 80 mm). L'épaisseur à retenir pour le calcul de la résistance thermique de l'isolant en œuvre sera l'épaisseur utile.

Prescriptions de mise en œuvre d'un isolant en vrac en toitures rampantes, murs à ossature bois ou en parois en maçonnerie ou béton isolées par l'extérieur

La mise en œuvre doit être réalisée en s'inspirant du Cahier des Prescriptions Techniques communes de mise en œuvre des procédés d'isolation thermique de murs par insufflation d'isolant en vrac (cahier CSTB 3723 de novembre 2012)* avec les spécificités suivantes :

La machine pour l'insufflation doit comporter un système de cardage, une trémie d'alimentation, des pâles de remplissage permettant d'aérer la fibre, une turbine électrique pour la pulser. Puissance de soufflage et arrivée de matière doivent être réglables. En général une télécommande permet de contrôler la mise en marche et l'arrêt de l'envoi. La longueur du tuyau d'insufflation est d'au moins 20 mètres, car c'est en y passant que la fibre achève son cardage.

La masse volumique (densité) obtenue se détermine de la manière suivante:

Masse volumique (kg/m^3) = poids d'isolant mis en œuvre (kg) / Volume net de la cavité (m^3)

Les parois à isoler sont constituées de caissons fermés qui maintiendront l'isolant en place. Elles sont percées en partie haute, au centre de chaque caisson, afin de permettre le passage du tuyau d'insufflation. Le remplissage s'effectue de bas en haut en respectant la densité. Les matériaux délimitant la cavité (panneaux ou membranes, contre-cloisons...) sont stables, en bon état et capables de résister à la pression de remplissage.

***Les Cahiers des Prescription Techniques 3693_V2 et 3723 ne visent pas les climats tropicaux et équatoriaux. Dans le cadre de l'évaluation du matériau d'isolation biosourcé, les prescriptions de mise en œuvre qui y sont mentionnées devront être adaptées au contexte local.**

LE PROJET ISOBIODOM EST LAURÉAT DE L'APPEL À PROJET DU MINISTÈRE DE LA COHÉSION DES TERRITOIRES DANS LE CADRE DU PROGRAMME PACTE - PROGRAMME D'ACTION POUR LA QUALITÉ DE LA CONSTRUCTION ET LA TRANSITION ENERGÉTIQUE.

Ce projet a été réalisé par le CIRBAT (Centre d'Innovation et de Recherche du Bâti Tropical), l'institut technologique FCBA (Forêt – Cellulose - Bois Construction - Ameublement) et le CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment).